

Rudolf, het roodverschoven rendier

De feestdagen naderen, en in bijna iedere winkel klinkt inmiddels vrolijke kerstmuziek. Eén van de bekendste kerstliedjes draait om Rudolf, een rendier met een felrode, lichtgevende neus. De opvallende neus is lange tijd aanleiding tot spot van de andere rendieren, totdat op een mistige kerstavond de neus goed van pas blijkt te komen. Wanneer het rendierspan niets ziet door een dichte mist, vraagt de kerstman Rudolf om voorop te gaan, zodat zijn neus kan fungeren als lamp. Dankzij dit licht bereikt de slee toch veilig alle huizen, waarmee Rudolf een heldenstatus verwerft. Het verhaal van Rudolf werd in 1939 bedacht door Robert Lewis May, en is sindsdien onlosmakelijk met het kerstfeest verbonden. Bovendien roept het een aantal leuke natuurkundige vragen op.¹



Rudolf het rendier. Hoe kan Rudolfs neus licht geven? En kunnen wij, terwijl hij de slee van de kerstman door de lucht voorttrekt, vanaf de grond die rode neus eigenlijk wel zien?

Afbeelding: Max Fleischer, via [Wikimedia Commons](#).

Overbodige luxe?

Zoals je zou verwachten van dieren die boven de poolcirkel leven, zijn de ogen van rendieren goed aangepast aan de donkere wintermaanden. Net als veel nachtdieren hebben rendieren een *tapetum lucidum* (TL), een reflecterende laag van cellen direct achter het netvlies. Normaal gesproken wordt licht in het oog geabsorbeerd zodra het de lichtreceptoren – staafjes en kegeltjes – is gepasseerd. Bij dieren met een TL wordt een deel van het licht echter teruggekaatst, zodat het een tweede kans krijgt om door de lichtreceptoren te worden opgevangen. Het TL verklaart waarom de ogen van veel nachtdieren oplichten wanneer er licht op valt.

Opvallend bij rendieren is dat het TL verandert van kleur, van goudgeel in de zomer naar

diepblauw in de winter. Het resultaat is dat het TL in de winter meer blauwachtig licht reflecteert, wat vervolgens kan worden opgevangen door het netvlies. Vermoedelijk verbetert dit het zicht in de lange winterse schemeringen, waarin de zon onder de horizon staat, maar het niet volledig donker is. In de schemering is het licht overwegend blauw van kleur. Dit komt doordat blauw licht, vergeleken met andere kleuren licht, een korte golflengte heeft. Hierdoor botst blauw licht veel vaker dan licht van andere kleuren met deeltjes in de lucht, en worden blauwe lichtgolven meer verstrooid.^[2] Wanneer de zon onder de horizon staat, kan zonlicht ons niet meer rechtstreeks bereiken, maar een deel van het verstrooide blauwe licht kan dat wél. Een nadeel aan het blauwe TL is dat blauw licht ook ín het oog meer verstrooid wordt, wat het zicht waziger maakt. Een geel TL zorgt voor een veel minder verstrooide reflectie en is in de zomermaanden ruim voldoende om te kunnen zien.



Golflengtes van zichtbaar licht. De golflengtes van zichtbaar licht – op schaal, maar natuurlijk niet op ware grootte. Blauw licht heeft een kortere golflengte dan rood licht. Afbeelding: DrScieComm, via [Wikimedia Commons](#).

Met zulk uitmuntend nachtzicht lijkt een lamp wellicht een overbodige luxe voor de sleetrekken van de kerstman. Op de veelbesproken kerstavond is de lucht echter gevuld met een uitzonderlijk dichte mist – ‘zo dik als frisdrankschuim’, schrijft May. Mist bestaat uit kleine waterdruppeltjes die in de lucht zweven. Deze druppels verstrooien het licht, wat het zicht drastisch beperkt. Je zou misschien verwachten dat blauw licht met een korte golflengte vaker botst met waterdruppels dan rood licht met een langere golflengte, en dus meer wordt

verstrooid. Met hun blauwgerichte zicht zouden rendieren dan een groot probleem hebben in de mist. In de praktijk valt dit gelukkig mee. De meest voorkomende soort mist is *stralingsmist*, die ontstaat doordat de lucht boven het aardoppervlak afkoelt en waterdamp condenseert. De waterdruppels in stralingsmist zijn ongeveer even groot als de golflengte van zichtbaar licht. Het gevolg is dat licht van alle kleuren ongeveer evenveel verstrooid wordt, wat de witgrijze kleur van mist verklaart. Dit proces staat bekend als *Mie-verstrooiing*.

Had Rudolfs lichtgevende neus dan elke willekeurige kleur kunnen hebben? Misschien. Maar als het héél koud is – zoals op een gure decemberavond – kan er ook een andere vorm van mist ontstaan: *ijsmist*. Hierbij bestaat de mist niet uit druppels van vloeibaar water, maar uit minuscule ijskristallen. Deze ijskristallen zijn gemiddeld wat kleiner dan de waterdruppels in stralingsmist, waardoor de Mie-verstrooiing minder sterk is. In dat geval zou rood licht inderdaad net iets beter door de mist kunnen doordringen en een goede aanvulling geven op het blauwzicht van de rendieren.

Lichtgevende lichaamsdelen

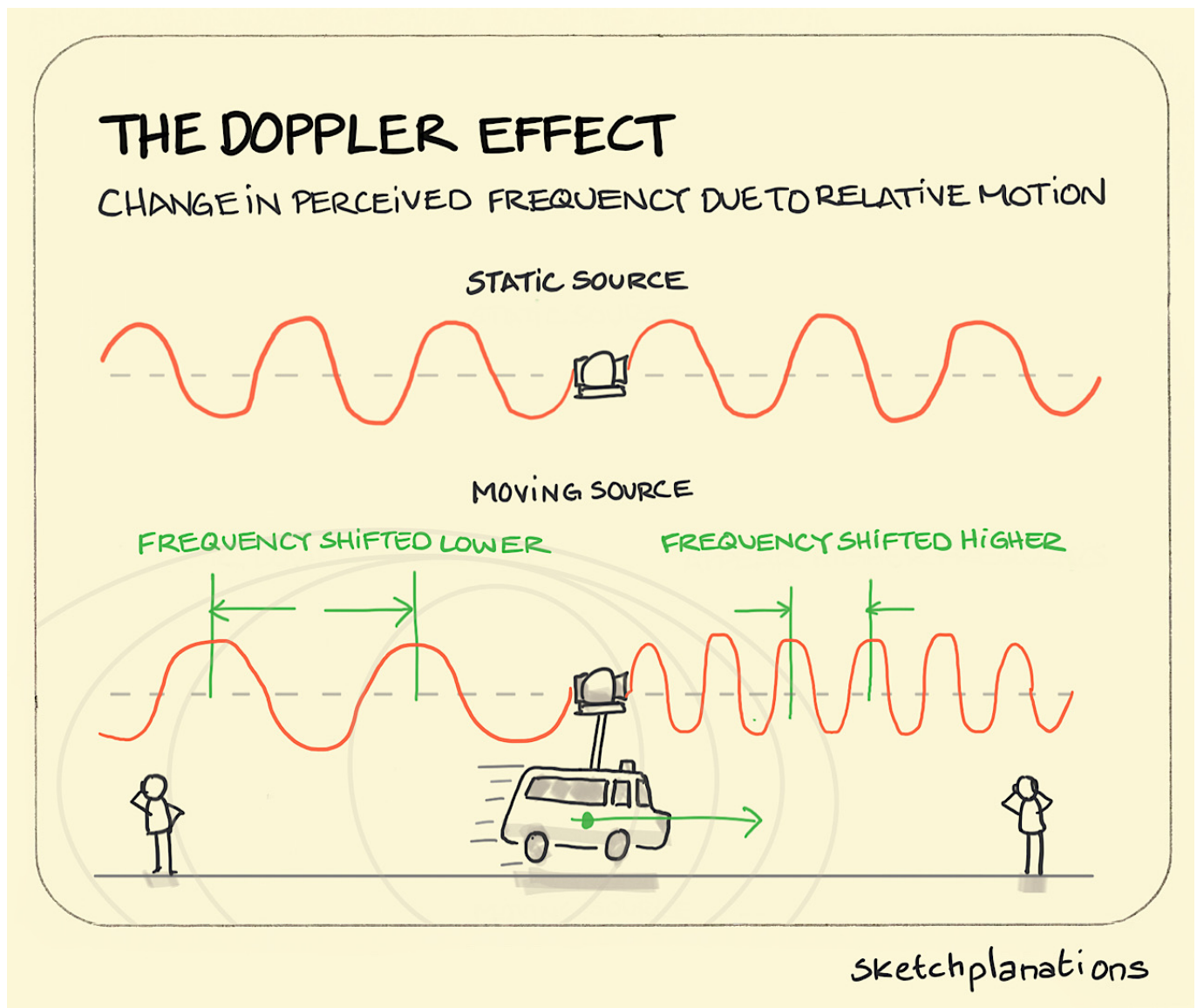
Los van de vraag of een extra lamp van toegevoegde waarde is voor het rendierspan, lijkt een lichtgevende neus misschien wel net zo onwaarschijnlijk als een vliegend rendier. Toch zijn er verschillende pogingen gedaan om Rudolfs rode neus te verklaren. Eén verklaring is gebaseerd op de anatomie van rendieren. Hun neus bevat een dicht netwerk van bloedvaten, dat een belangrijke rol speelt bij de warmteregulatie. Ingeademde lucht wordt opgewarmd voordat het verder het lichaam ingaat en uitgeademde lucht wordt afgekoeld voordat het het lichaam verlaat. Hierdoor gaat er zo min mogelijk warmte verloren. Bij zware inspanning – zoals het trekken van een slee – kan het netwerk daarentegen helpen om overtollige warmte kwijt te raken: de bloedvaten zetten uit, zodat er meer warmte kan worden afgevoerd. Dit uitzetten van de bloedvaten veroorzaakt een rode kleur, vergelijkbaar met blozende wangen bij mensen.

Bovenstaande theorie roept verschillende vragen op. Alle rendieren hebben dit systeem van bloedvaten, dus waarom zou Rudolf zo opvallen? Bovendien wordt Rudolf in het verhaal al vóór het trekken van de slee uitgekozen door de kerstman, nog voordat inspanning of oververhitting een rol kan spelen. Een tweede verklaring voor de Rudolfs neus is [*bioluminescentie*](#): het uitstralen van licht door bepaalde organismen als gevolg van een

chemische reactie. Bioluminescentie komt vooral voor bij bacteriën en diepzeebewoners, zoals vissen en kwallen. Een bekend voorbeeld is zeevonk: het oplichten van de zee na een warme dag, veroorzaakt door eencellige algen. Hoewel blauwe en groene bioluminescentie veruit het meest voorkomen, zijn er ook organismen bekend die rood licht uitstralen, zoals bepaalde draakvissoorten.

Roodverschuiving

Hoewel het dus wel degelijk kán dat Rudolf een lichtgevende rode neus heeft, is het observeren van die neus vanaf de grond terwijl Rudolf hoog in de lucht de slee van de kerstman voorttrekt nog niet zo eenvoudig. Het uitgestraalde licht is namelijk onderhevig aan het [*Dopplereffect*](#). Dit is het verschijnsel dat golflengtes veranderen als de bron van de golf beweegt: beweegt de bron naar je toe, dan wordt de golf als het ware samengedrukt en wordt de golflengte korter; beweegt de bron van je af, dan wordt de golf juist uitgerekt en wordt de golflengte langer. Het Dopplereffect verklaart bijvoorbeeld waarom het geluid van een passerende ambulance verandert: een kortere golflengte correspondeert met een hogere toon, dus het geluid van de sirene is hoger als de ambulance naar je toe rijdt, en lager als de ambulance wegrijdt.



Het Dopplereffect. De golflengte en de bijbehorende frequentie veranderen als de bron van de golf naar je toe of van je af beweegt. Afbeelding: Jono Hey, [Sketchplanations](https://www.sketchplanations.com/).

Hetzelfde effect treedt op bij lichtgolven. Licht van een bron die naar je toe beweegt, verschuift naar een kortere golflengte en wordt blauwer; licht van een bron die van je af beweegt, verschuift naar langere golflengten en wordt roder. In tegenstelling tot geluid, merk je hier bij licht meestal niets van. Lichtgolven planten zich namelijk veel sneller voort dan geluidsgolven, dus objecten moeten zelf ook behoorlijk snel bewegen voordat er zichtbare blauw- of roodverschuiving plaatsvindt.

De kerstman en zijn rendieren moeten echter sowieso behoorlijk snel zijn als ze op één avond bij alle kinderen ter wereld cadeaus willen bezorgen. Hoe snel precies, werd berekend door astronoom Laura Nicole Driessen. Zij schat het aantal kinderen dat in de kerstman gelooft op

690 miljoen, verspreid over zo'n 300 miljoen huizen. Als die huizen gelijkmatig zijn verdeeld over het bewoonbare oppervlak van de aarde – circa 69 miljoen vierkante kilometer – dan moet de arrenslee op kerstavond ongeveer 144 miljoen kilometer afleggen. Dit is bijna net zo veel als de afstand van de aarde naar de zon!

In deze enorme onderneming wordt de kerstman gelukkig iets geholpen door de tijdzones. Tussen de bedtijd van de eerste kinderen en het wakker worden van de laatste kinderen zit zo'n 35 uur. Een groot deel van die tijd gaat echter verloren aan het binnensluipen van huizen en het neerleggen van cadeaus. Zelfs als de slee met tien procent van de lichtsnelheid door de lucht raast, blijft er per huis nog geen halve milliseconde over om de cadeaus neer te leggen. Bij zulke snelheden wordt het Dopplereffect wel degelijk zichtbaar.

De kleur van Rudolfs neus wordt op geschat op 700 nanometer, een schatting die gebaseerd is op een vergelijking met de kleur van hulstbessen in een latere versie van het verhaal. Als Rudolf op je afkomt, verschuift dat licht naar ongeveer 630 nanometer, wat overeenkomt met een donkeroranje kleur. Beweegt Rudolf van je af, dan verschuift de golflengte naar zo'n 770 nanometer – een heel donkerrode kleur die bijna niet zichtbaar is. Rudolfs neus lijkt mogelijk dus niet rood als hij aan het werk is, maar werkt hoe dan ook goed als mistvoorlicht – als mistachterlicht heeft hij er minder aan.

De magie van kerst

De vragen die in dit artikel besproken zijn, vormen slechts het topje van de ijsberg. Waar haalt een rendier bijvoorbeeld de enorme hoeveelheid energie vandaan die nodig is om in één nacht de hele wereld rond te reizen? En misschien nog belangrijker: hoe krijgen de rendieren de zwaarbeladen slee überhaupt van de grond? Vergeleken met deze vragen lijkt Rudolfs rode neus misschien wel het minst wonderlijke van het hele verhaal.

De Quantum Universe-redactie wenst alle lezers fijne feestdagen toe! In de vakantieperiode plaatsen we in drie afleveringen ons QU-jaaroverzicht; in 2026 zijn we dan weer terug met tweemaal per week een artikel over de wondere wereld van de natuurkunde.

[1] Dit verhaal is deels gebaseerd op [dit artikel](#) van Nathaniel J. Dominy en op referenties daarin. Driessens berekening van het Dopplereffect is te vinden in [dit artikel](#).

[2] Dit proces, dat bekend als [Rayleighverstrooiing](#), verklaart ook waarom de lucht blauw is.